


[my account](#) [learning center](#) [patentcart](#) [document ca](#)
[home](#)[research](#)[patents](#)[alerts](#)[documents](#)**Format Examples****US Patent**

US6024053 or 6024053

US Design Patent

D0318249

US Plant Patents

PP8901

US Reissue

RE35312

US SIR

H1523

US Patent Applications

20020012233

World Patents

WO04001234 or WO2004012345

European

EP1067252

Great Britain

GB2018332

German

DE29980239

Nerac Document Number (NDN)

certain NDN numbers can be used for patents

[view examples](#)**Patent Ordering**[Help](#)**Enter Patent Type and Number:** optional reference note

Add patent to cart automatically. If you uncheck this box then you must click on Publication number and view abstract to Add to Cart.

99 Patent(s) in Cart

Patent Abstract

GER 1998-01-15 19627938 **METHOD ABOUT THE DYNAMIC TRACK PROSECUTION IN MOVED PICTURE SEQUENCES**

INVENTOR- Garnitz, Rainer 31135 Hildesheim DE**INVENTOR**- Goldbeck, Jens 30173 Hannover DE**INVENTOR**- Hoetter, Michael, Dr. 30989 Gehrden DE**APPLICANT**- Robert Bosch GmbH 70469 Stuttgart DE**PATENT NUMBER**- 19627938/DE-A1**PATENT APPLICATION NUMBER**- 19627938**DATE FILED**- 1996-07-11**DOCUMENT TYPE**- A1, DOCUMENT LAID OPEN (FIRST PUBLICATION)**PUBLICATION DATE**- 1998-01-15**INTERNATIONAL PATENT CLASS**- G06T00700; G06F01900; G05D00100; G01P00350; G06F16500; G06T00720; G01P00368; G05D00103B**PATENT APPLICATION PRIORITY**- 19627938, A
PRIORITY COUNTRY CODE- DE, Germany, Ged. Rep. of**PRIORITY DATE**- 1996-07-11**FILING LANGUAGE**- German**LANGUAGE**- German NDN- 203-0394-3796-7

It is proposed a video-been based procedure, that serves the dynamic track prosecution in moved picture sequences. A rake unit investigates picked up consecutive pictures a model the timewise newer picture from the picture reception unit to the description of the roadway and the relative



6.0 recommended

Win98SE/2000/XP

situation of the vehicle from two, based on the roadway model of the timewise older picture. A hierarchical procedure is applied on that occasion to the Detektion of the roadway edges.

EXEMPLARY CLAIMS- 1. Examination the model parameter of following sequence:B - . . . c. - . x. - . . 2. Demolition of the examination, as soon as a model parameter is recognized as untrustworthy. 3. Untrustworthy model parameter is held in accordance with his/its value from the estimation steadily in the preceding picture. 4. Installation of a new equation system, whose number of unknown model parameters is reduced by one, namely about the steadily held parameter. 5. New estimation all unknown, not steadily held parameters. 6. End of the algorithm, if all remaining parameters can be estimated reliably, or but all parameters steadily must be held. 7. Continuation of the algorithm with step 1. After the investigation of the new parameter sentence a_{k+1} is placed accordingly the measuring cells M_{k+1} of the new roadway model in conclusion. To the regulation of the absolute situation of the roadway edges independently of the previous model parameter sentence a_k takes place a correction of these measuring cell centers within a local search area about them/her/it from the roadway model of emerging centers of the measuring cells on the basis a Gradientenverfahrens after Fig. 8. At first, the maximum deviations become d_{max} from the variations of the parameters in accordance with her/its/their standard deviation for each roadway edge between the model curve and him/it. 81 determine $i, k+1$ emerging model curves in the current picture. These deviations let themselves transform D_{max} into real deviations so that correction areas around the roadway edges of the constant width $2D_{max}$, whose center line is formed by the respective roadway edge, are built in the reality. Under consideration of the illustration laws, these correction areas are re-transformed in picture coordinates. In accordance with a procedure confessed from publications (Kuhnert) K. D. "Zur real time picture follow analysis with prior knowledge", university of the armed forces Munich, January 1988, the contrast differences in the

NO-DESCRIPTORS

 [proceed to checkout](#)

Nerac, Inc. One Technology Drive . Tolland, CT

Phone (860) 872-7000 Fax (860) 875-1749

©1995-2003 All Rights Reserved . [Privacy Statement](#) . [Report a Problem](#)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 27 938 A 1**

51 Int. Cl. 6:
G 06 T 7/00
G 06 F 19/00
G 05 D 1/00
G 01 P 3/50
// G08F 165:00

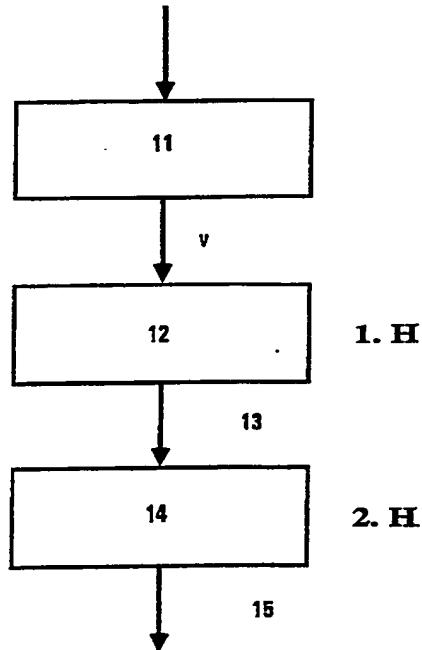
21 Aktenzeichen: 196 27 938.0
22 Anmeldetag: 11. 7. 98
43 Offenlegungstag: 15. 1. 98

71 Anmelder:

72 Erfinder:
Garnitz, Rainer, 31135 Hildesheim, DE; Goldbeck, Jens, 30173 Hannover, DE; Hoetter, Michael, Dr., 30989 Gehrden, DE

54 Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung in Bewegtbildsequenzen

57 Es wird ein videobasiertes Verfahren vorgeschlagen, das der dynamischen Spurverfolgung in Bewegtbildsequenzen dient. Eine Recheneinheit ermittelt aus zwei von der Bildaufnahmeeinheit aufgenommenen aufeinanderfolgenden Bildern ein Modell zur Beschreibung der Fahrbahn und der relativen Lage des Fahrzeugs im zeitlich neueren Bild, basierend auf dem Fahrbahnmodell des zeitlich älteren Bildes. Dabei wird zur Detektion der Fahrbahnräder ein hierarchisches Verfahren angewendet.



DE 19627938 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen
BUNDESDRUCKEREI 11.97 702 063/343



Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach der Gattung des Hauptanspruchs. Es sind bereits solche Bildanalyseverfahren aus der Literatur bekannt, "Real Time 3D-Road Modeling for Autonomous Vehicle Guidance" (U. Franke, 7. Skandinavische Konferenz der Bildanalyse, Aalborg, Dänemark, Seiten 316 bis 323). Das Verfahren ermittelt den Fahrbahnverlauf und die Lage des Fahrzeugs relativ zu dieser Fahrbahn aus Videobildern, die von einer Bildaufnahmeeinheit aufgenommenen werden. Nach diesem Verfahren werden die die Fahrbahn beschreibenden Modellparameter anhand von Bildpunkten geschätzt, welche als zu der Fahrbahnberandung gehörend erkannt worden sind. Die Detektion dieser Fahrbahnrandpunkte ist ausschließlich gradientenbasiert und setzt das Vorhandensein gut sichtbarer heller Fahrbahnmarkierungen an beiden Fahrbahnranden voraus. Entsprechend des Fahrbahnmodells, das eine hinreichend genaue Schätzung des Winkels liefert, unter dem die Fahrbahnmarkierung im Videobild verläuft, werden parallelogrammförmige Meßzellen entlang der Fahrbahnmarkierung plaziert, in denen dann Kanten bekannter Steigung gesucht werden. Der Meßzelleninhalt wird entlang der vorhergesagten Kante integriert. Aus dem erhaltenen Signal wird daraufhin das Paar der lokalen Gradientenmaxima extrahiert, das mit größter Wahrscheinlichkeit die jeweiligen Fahrbahnberandungen repräsentiert. Aus den detektierten Fahrbahnrandpunkten werden dann im Fall eines überbestimmten Gleichungssystems, d. h. es werden mehr Fahrbahnrandpunkte erfaßt, als zur Bestimmung der Modellparameter notwendig sind, die den Fahrbahnverlauf und die relative Lage des Fahrzeugs zur Fahrbahn beschreibende Modellparameter geschätzt.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, daß es nicht mehr auf eine Einsetzbarkeit bei Fahrbahnen mit gut sichtbaren, hellen Fahrbahnmarkierungen beschränkt ist, sondern auch bei Fahrbahnen mit weniger kontrastreichen Berandungen, z. B. Grasstreifen, Rinn- und Bordsteine, eine zuverlässige Erfassung der Fahrbahnrandränder gewährleistet. Die Lage der Fahrbahnrandränder wird durch das erfindungsgemäße hierarchische zweistufige Verfahren zuverlässig ermittelt, welches durch die Suche nach ähnlichen Strukturen innerhalb interessanter Meßzellen in zwei aufeinanderfolgenden Bildern und einer anschließenden lokalen gradientenbasierten Korrektur gekennzeichnet ist.

Außerdem besteht die Möglichkeit, Parameter des Modellparametersatzes auch dann noch bestimmen zu können, wenn lediglich Bildpunkte erfaßt werden, die nur einem Fahrbahnrand zuzuordnen sind.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich.

Besonders vorteilhaft ist es, daß die durch das hierar-

chische Verfahren ermittelten Modellparameter im nächsten Meßdurchgang wieder für die Geschwindigkeitsbestimmung eingesetzt werden. Die Bestimmung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs erfolgt zwischen

5 zwei aufeinanderfolgenden Videobildern und ist für die Suche nach ähnlichen Strukturen in den Videobildern notwendig. Dazu werden im zeitlich älteren Bild Meßzellen in Abhängigkeit von angenommenen Fahrzeuggeschwindigkeiten entlang der Fahrbahnrandränder des Modells verschoben. Zur Erhöhung der Stabilität der Geschwindigkeitsbestimmung wird dann der Bildinhalt aller gemäß einer Geschwindigkeit verschobener Meßzellen mit dem Bildinhalt der zugehörigen Meßzellen im zeitlich neueren Bild verglichen. Durch eine statistische

10 Auswertung der bei diesen Vergleichen gebildeten Ähnlichkeitsmaße kann die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit geschätzt werden. Dieses Verfahren der Geschwindigkeitsbestimmung ist aufgrund der Einsparung von Rechenoperationen deutlich schneller als bisher bekannte Verfahren auszuführen.

Für die Erfassung von Fahrbahnrandpunkten ist es von Vorteil, daß zur Erhöhung der Stabilität der Randpunkt detektion eine hierarchische Struktur zugrunde liegt. Dabei werden ein Such- und Gradientenverfahren

25 angewendet. Das zunächst angewandte Suchverfahren weist eine hohe Stabilität auf, da aufgrund einer Textursuche im Gegensatz zu bisherigen Verfahren keine Fahrbahnmarkierungen benötigt werden. Das anschließende Gradientenverfahren muß zur Detektion eines

30 Randpunktes aufgrund der Vorverarbeitung durch das Suchverfahren nur in einem kleinen lokalen Bereich angewendet werden, wodurch eine hohe Sicherheit der Fahrbahnrandpunkt erfassung gewährleistet wird. Weiterhin kann die Zuverlässigkeit des Auffindens der zu

35 verfolgenden Fahrbahnrand durch die Anwendung des Suchverfahrens wesentlich erhöht werden, da Verwechslungen der Fahrbahnrandränder mit benachbarten, gleichgerichteten linienhaften Strukturen, wie z. B. Grasstreifen, wie sie bei der ausschließlich gradientenbasierten Suche auftreten können, weitestgehend ausgeschlossen werden. Zudem kann der horizontale Suchbereich um einen Fahrbahnrandpunkt im zeitlich älteren Bild zur Bestimmung eines aktuellen Randpunktes aufgrund der hohen Zuverlässigkeit des Suchverfahrens

40 größer als beim gradientenbasierten Verfahren gewählt werden, was dem erfindungsgemäßen Verfahren eine hohe Robustheit verleiht.

Während der nach der Fahrbahnrandpunkt detektion anschließenden Schätzung der Modellparameter werden die Schätzfehler der Modellparameter festgestellt. Zur Überprüfung der Genauigkeit der Schätzung eines Parameters wird nicht nur das Verhältnis zwischen Modellparameter und zugehörigem Schätzfehler herangezogen, sondern auch der Einfluß der Ungenauigkeit der Schätzung der Modellparameter auf den Kurvenverlauf der Modellbeschreibung im aktuellen Videobild betrachtet. Dazu wird jeweils durch Variation eines Modellparameters entsprechend seiner Schätzgenauigkeit eine veränderte Modellkurve erzeugt, deren Verlauf mit dem der ursprünglichen Modellkurve verglichen wird.

Ein weiterer Vorteil des vorgestellten Verfahrens liegt in seiner selbstjustierenden Eigenschaft. Falls die Anzahl der erfaßten Punkte auf einem Fahrbahnrand für eine Schätzung des vollständigen Modellparametersatzes zu gering ist, auf der anderen Berandung jedoch ausreichend viele Punkte detektiert werden können, wird ein unvollständiger Parametersatz geschätzt. Die Modellparameter, deren Schätzung nicht möglich ist,

55

60

65

X

werden unverändert aus der Modellierung des Fahrbahnverlaufs im vorhergehenden Bild übernommen. Dieses Vorgehen erhöht die Zuverlässigkeit der Beschreibung des aktuellen Fahrbahnverlaufs durch das Modell.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den nachstehenden Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Fig. 1 ein Blockdiagramm der dynamischen Spurverfolgung, Fig. 2 eine Anordnung zur dynamischen Spurverfolgung, Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel, Fig. 4 die Komponente der Geschwindigkeitsbestimmung, Fig. 5 die Komponente des horizontalen Suchverfahrens, Fig. 6 und 7 die Komponente der Schätzung der Modellparameter und Fig. 8 die Komponente der gradientenbasierten Korrektur.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Abb. 1 ist ein Blockdiagramm der erfindungsgemäßen dynamischen Spurverfolgung. Es wird der Modellparametersatz des endgültigen Fahrbahnmodells aus zwei aufeinanderfolgenden Videobildern B ermittelt. Dazu wird in einer ersten Hierarchiestufe (1.H) nach einer Kompensation 11 der Fahrzeuggeschwindigkeit v ein erster Modellparametersatz 13 auf der Grundlage eines Suchverfahrens zur Detektion von Fahrbahnrandpunkten 12 geschätzt. In der zweiten Hierarchiestufe (2.H) erfolgt eine Korrektur der Lage 14 der zuvor erfaßten Fahrbahnrandpunkte auf Gradientenbasis und die endgültigen Modellparameter des Fahrbahnmodells 15 werden abschließend geschätzt.

Abb. 2 zeigt schematisch den technischen Aufbau des erfindungsgemäßen Verfahrens. Eine Bildaufnahmeeinheit 1 ist über eine Datenleitung 6 mit einer Recheneinheit 2 verbunden. Die Recheneinheit 2 steht wiederum über eine Datenleitung mit der Eingabeeinheit 3 sowie eine weitere Datenleitung 6 mit einem Speicher 4 und mit dem Bildschirm 5 in Verbindung. Ziel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist eine möglichst genaue Modellierung der Fahrbahn und die Bestimmung der relativen Lage des Fahrzeugs zur Fahrbahn, indem zwei aufeinanderfolgende Videobilder verglichen werden. Ein bereits aus der oben genannten Veröffentlichung bekanntes Modell legt die Fahrbahn durch sechs Modellparameter a_i fest (Fahrbahnbreite B, Nickwinkel α , seitlicher Versatz des Fahrzeugs bzgl. der Fahrbahnmitte x_0 , Gierwinkel φ , Fahrbahnkrümmung c_0 und der Krümmungsänderung c_1). Unter der Annahme, daß die Krümmungsänderung vernachlässigt werden darf, sind aus der Messung der Fahrbahnrandpunkte fünf Modellparameter zu bestimmen. Können mehr als fünf Bildpunkte erfaßt werden, so ist das Gleichungssystem zur Ermittlung der Modellparameter überbestimmt, so daß ein Modellparametersatz geschätzt werden muß.

Fig. 3 zeigt das Blockdiagramm, das die einzelnen Schritte der dynamischen Spurverfolgung erläutert. Anhand zweier aufeinanderfolgender Videobilder B k und B k + 1 wird zunächst die Bestimmung der Fahrzeuggeschwindigkeit $v_{k-1,k}$ 11, siehe Fig. 4, durchgeführt. Dazu werden Meßzellen M_{k+1} entsprechend des Fahrbahnmodells a_i mit den Modellparametern aus der hervorgehenden Schätzung so plaziert 41, daß die jeweils unterste Meßzelle eines Fahrbahnrandes gerade noch vollständig innerhalb des aktuellen Bildes k + 1 liegt. Die

initialen Positionen der korrespondierenden Meßzellen M_k sind von der zuvor bestimmten Fahrzeuggeschwindigkeit $v_{k-1,k}$ abhängig. Da sich die Fahrbahn und die relative Lage des Fahrzeugs zur Fahrbahn jedoch zwischen zwei Videobildern verändern, müssen Modellierung und Schätzung der Fahrzeuggeschwindigkeit aktualisiert werden. Die aktuelle Geschwindigkeit des Fahrzeugs wird dabei durch eine aus Veröffentlichungen (Mester R. Höller, M. "Zuverlässigkeit und Effizienz von Verfahren zur Verschiebungsvektorschätzung", DAGM 95, Bielefeld 13. – 15.09.95) bekannte statistische Auswertung definierter Geschwindigkeiten innerhalb eines Suchbereichs, auf den die aktuelle Geschwindigkeit $v_{k,k+1}$ beschränkt sein soll, bestimmt 11. Dabei wird nach einer Adaption der Größe aller Meßzellen M_{k+1} an die jeweiligen entsprechend der Geschwindigkeit verschobenen korrespondierenden Meßzellen M_k des vorhergehenden Bildes und einer nachfolgenden Grauwertinterpolation jeder Geschwindigkeit v durch Vergleich der Meßzelleninhalte ein globales Ähnlichkeitsmaß bzgl. aller Meßzellen des vorherigen und des aktuellen Bildes M_k und M_{k+1} zugeordnet. Dieses Ähnlichkeitsmaß wird als Displaced Frame Difference (DFD) bezeichnet. Im erfindungsgemäßen Verfahren wird die DFD-Bestimmung durch Reduktion der rechenintensiven Operationen beschleunigt, indem die mittleren Spaltengrauwerte der Meßzellen mit den mittleren Spaltengrauwerten der im vorherigen Bild aufgenommenen Meßzellen verglichen werden. Die mittleren Spaltengrauwerte der parallel zu den Meßzellenkanten verlaufenden Spalten werden mit dem bekannten Verfahren der gerichteten Integration bestimmt (Franke, U. Ulrich, S. "Modell gestützte Echtzeitbildverarbeitung auf Transputern zur autonomen Führung von Fahrzeugen", TAT 90, Aachen Proceedings, Springer-Verlag 1990, Seiten 182 bis 189). Deshalb wird im näheren nicht auf das Verfahren eingegangen. Durch die Verwendung von Spaltengrauwerten wird gegenüber bisher gebräuchlichen Verfahren der DFD-Bestimmung eine deutliche Reduzierung des Rechenaufwands erreicht. Durch die statistische Auswertung der zu bestimmten Geschwindigkeiten gehörenden globalen DFD erhält man einen Least-Squares-Schätzwert für die Fahrzeuggeschwindigkeit $v_{k,k+1}$. Diese $v_{k,k+1}$ des Fahrzeugs wird in der dem horizontalen Suchverfahren vorausgehenden Geschwindigkeitskompensation 51 nach Fig. 5 benötigt. Im Anschluß daran werden nach Fig. 5 durch horizontales Matching, einem horizontalen Suchverfahren, die horizontalen Verschiebungen $d_{k,k+1}$ zwischen korrespondierenden Meßzellen bestimmt. Das Verfahren des horizontalen Matchings ist dem Verfahren zur Schätzung der Fahrzeuggeschwindigkeit sehr ähnlich. Zunächst müssen die y-Koordinaten y_k der Mittelpunkte der korrespondierenden Meßzellen durch Verschieben der Meßzellen M_k des vorhergehenden Bildes entlang der Modellkurve entsprechend der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit $V_{k,k+1}$ bestimmt werden 52. Aus der Geschwindigkeit und der Zeitdifferenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bildern läßt sich die Strecke bestimmen, die das Fahrzeug in der Realität zurückgelegt hat. Aus der Strecke wird die korrespondierende Verschiebung im Bild bzgl. der y-Koordinate des Mittelpunktes der Meßzelle berechnet. Die x-Koordinate ergibt sich aus der Modellgleichung, da x eine Funktion von y und den Modellparametern a_i ist. Somit kann zwischen korrespondierenden Meßzellen näherungsweise, noch unter Vernachlässigung der horizontalen Verschiebung $d_{k,k+1}$, eine Beziehung zwischen der Position

X

einer Meßzelle n im aktuellen Bild und deren vorheriger Lage im zeitlich älteren Bild hergestellt werden. Anschließend werden die Meßzellen M_k durch eine Größenadaption mit Grauwertinterpolation bzgl. der mittleren Spaltengrauwerte an die korrespondierenden Meßzellen M_{k+1} angepaßt, um die Meßzelleninhalte miteinander vergleichen zu können. Die horizontalen Verschiebungen d_{kk+1} zwischen Paaren korrespondierender Meßzellen werden auf der Grundlage des Verfahrens zur Geschwindigkeitsschätzung bestimmt 53. Zu jedem d werden Ähnlichkeitsmaße (DFD) für ein Meßzellenpaar gebildet und durch deren statistische Auswertung innerhalb eines Suchbereichs ein Least-Squares-Schätzwert der horizontalen Verschiebung d_{kk+1} für jedes Meßzellenpaar ermittelt. Mit d_{kk+1} lassen sich nun die korrigierten Positionen der Meßzellenmittelpunkte, die Repräsentanten von Fahrbahnrandpunkten sind, im aktuellen Bild $k+1$ angeben. Anhand der somit erfaßten Fahrbahnrandpunkte wird nun ein aktueller Parametersatz a_{k+1} geschätzt.

Für diese Schätzung müssen nach Fig. 6 in Abhängigkeit der Verteilung der erfaßten Punkte auf dem Fahrbahnrand diejenige Modellparameter gekennzeichnet 61 werden, deren Schätzung möglich ist. So ist z. B. eine Bestimmung der Fahrbahnbreite B dann nicht mehr möglich, wenn nur auf einem Fahrbahnrand Punkte detektiert werden können. Anhand der erfaßten Fahrbahnrandpunkte wird eine Aktualisierung des Modellparametersatzes a_k vorgenommen 62, in dem die nicht lineare Modellgleichung in einem Arbeitspunkt (= zuvor geschätzter Modellparametersatz) linearisiert wird, um dann mittels eines Newton-Verfahrens die Änderung der Modellparameter bzgl. des Arbeitspunktes 63 schätzen zu können.

Fig. 7 zeigt den Ablauf der Schätzung 71 für die Aktualisierung der Modellparameter. Da aufgrund des geringen zeitlichen Abstands der aufeinanderfolgenden Videobilder nur kleine Änderungen 72 am Arbeitspunkt zu erwarten sind, wird der Modellparametersatz a_k beim Auftreten wesentlicher Abweichungen nicht aktualisiert 77. Der bisherige Modellparametersatz bleibt ebenfalls bestehen, wenn die Änderungen der Modellparameter nach einer bestimmten Iterationszahl nicht konvergieren 73. Andernfalls werden Aktualisierung des Modellparametersatzes 74 und Schätzung der Modellparameteränderungen so lange wiederholt, bis eine Konvergenz der Modellparameteränderungen erreicht wird. Anschließend wird geprüft 75, ob die ermittelten Modellparameter eine zuverlässige Beschreibung der Fahrbahn liefern 76. Ist das der Fall werden die Parameter übernommen, andernfalls wird einen Auswahl der zu schätzenden Modellparameter genommen 78 und die Aktualisierung rückgängig 79 gemacht.

Für eine zuverlässige Beschreibung der Fahrbahn muß das Verhältnis aus Modellparameter und zugehöriger Standardabweichung σ_{ik+1} der Schätzung unterhalb einer Schwelle liegen.

Zum anderen wird die aufgrund der Standardabweichung eines Modellparameters hervorgerufene Abweichung im Bild von der ermittelten Modellkurve MC_0 betrachtet. Durch Variation jeweils eines der Modellparameter entsprechend seiner Standardabweichung σ_{ik+1} wird eine neue Modellkurve MC_{ik+1} erzeugt. Aus der Abweichung zwischen den Modellkurven lassen sich Abweichungen in der Wirklichkeit berechnen, die ein Maß für die Zuverlässigkeit der Schätzung darstellen. Falls die Zuverlässigkeit der ermittelten Modellparameter ausreichend ist, kann die Fahrbahn durch den

aktuellen Parametersatz modelliert werden. Andernfalls werden diejenigen Parameter, die zu einer unzuverlässigen Fahrbahnmodellierung führen, von einer weiteren Schätzung ausgeschlossen. Die von einer weiteren Schätzung ausgeschlossenen Werte nehmen die vor der Aktualisierung gültigen Werte an. Die Modellparameter, deren Aktualisierung sinnvoll erscheint, werden daraufhin beginnend mit einer weiteren Schätzung ihrer Änderung neu bestimmt. Die Überprüfung der Modellparameter wird dabei gemäß folgendem Algorithmus durchgeführt:

1. Prüfung der Modellparameter in folgender Reihenfolge:
 - $B - \alpha - c_0 - x_0 - \varphi$
 2. Abbruch der Prüfung, sobald ein Modellparameter als unzuverlässig erkannt wird.
 3. Unzuverlässiger Modellparameter wird gemäß seines Wertes aus der Schätzung im vorhergehenden Bild konstant gehalten.
 4. Aufstellung eines neuen Gleichungssystems, dessen Anzahl unbekannter Modellparameter um eins reduziert ist, nämlich um den konstant gehaltenen Parameter.
 5. Neue Schätzung aller unbekannten, nicht konstant gehaltenen Parameter.
 6. Ende des Algorithmus, falls alle verbleibenden Parameter zuverlässig geschätzt werden können, oder aber alle Parameter konstant gehalten werden müssen.
 7. Fortsetzung des Algorithmus mit Schritt 1.

Nach der Ermittlung des neuen Parametersatzes a_{k+1} werden abschließend die Meßzellen M_{k+1} entsprechend des neuen Fahrbahnmodells plaziert.

Zur Bestimmung der absoluten Lage der Fahrbahnänder unabhängig vom vorausgehenden Modellparametersatz a_k erfolgt innerhalb eines lokalen Suchbereichs um die aus dem Fahrbahnmodell hervorgehenden Mittelpunkte der Meßzellen eine Korrektur dieser Meßzellenzentren auf der Grundlage eines Gradientenverfahrens nach Fig. 8. Zunächst werden für jeden Fahrbahnrand die maximalen Abweichungen d_{max} zwischen der Modellkurve und den aus den Variationen der Parameter gemäß ihrer Standardabweichung σ_{ik+1} hervorgehenden Modellkurven im aktuellen Bild bestimmt 81. Diese Abweichungen lassen sich in reale Abweichungen D_{max} transformieren, so daß in der Wirklichkeit Korrekturbereiche um die Fahrbahnänder der konstanten Breite $2D_{max}$ entstehen, deren Mittellinie durch den jeweiligen Fahrbahnrand gebildet wird. Unter Berücksichtigung der Abbildungsgesetze werden diese Korrekturbereiche in Bildkoordinaten rücktransformiert. Gemäß einem aus Veröffentlichungen bekannten Verfahren (Kuhnert, K. D. "Zur Echtzeitbildfolgenanalyse mit Vorwissen", Universität der Bundeswehr München, Januar 1988) werden in den Meßzellen die Kontrastunterschiede vertikal zur Richtung des Fahrbahnrandes ausgewertet 82. Jeder Ort eines maximalen lokalen Kontrastunterschiedes repräsentiert einen Kandidaten für den Fahrbahnrandpunkt innerhalb der Meßzelle. Der bzgl. des Meßzellenzentrums geeignete Kandidat wird als möglicher Fahrbahnrandpunkt ausgewählt 83 und falls dieser innerhalb des zuvor bestimmten Korrekturbereichs um den modellierten Fahrbahnrand gelegen ist, wird seine horizontale Position d_{k+1} , korrekt

X

korrigiert 84.

Zum Abschluß des Verfahrens der dynamischen Spurverfolgung in aufeinanderfolgenden Videobildern nach Fig. 3 wird unter Verwendung der korrigierten Mittelpunkte der Meßzellen 33 der bisherige Modellparametersatz in einer weiteren Schätzung der Modellparameter 32, siehe Fig. 6 und 7, aktualisiert, so daß ein aktueller Parametersatz für das aktuelle Bild dargestellt wird.

Bezugszeichenliste

11 Geschwindigkeitsbestimmung	5
12 Spurverfolgung mit Matching-Verfahren	10
13 Erstes Fahrbahnmodell	15
14 Spurverfolgung mit Gradientenverfahren	20
15 Endgültiges Fahrbahnmodell	25
31 Horizontales Matching	30
32 Schätzung der Modellparameter	35
33 Gradientenkorrektur	40
41 Plazierung der Meßzellen M_k und M_{k+1}	45
51 Plazierung der Meßzellen M_k und Geschwindigkeitskompensation	50
52 Größenadaption der Meßzellen M_k	55
53 Bestimmung der horizontalen Verschiebung	60
61 Kennzeichnung der zu schätzenden Parameter	65
62 Aktualisierung des Modellparametersatzes	70
63 Neuplazierung der Meßzellen M_{k+1}	75
71 Schätzung der Modellparameteränderungen	80
72 Arbeitspunkt wesentlich verändert?	85
73 Konvergenz aller Modellparameteränderungen?	90
74 Aktualisierung des Modellparametersatzes	95
75 Prüfung der geschätzten Modellparameter	100
76 Modellparameter okay?	105
77 Aktualisierung des Modellparametersatzes rückgängig machen	110
78 Auswahl der zu schätzenden Modellparameter	115
79 Aktualisierung des Modellparametersatzes rückgängig machen	120
81 Bestimmung des Gradientenkorrekturbereichs	125
82 Bestimmung des mittleren Gradienten	130
83 Auswahl der Fahrbahnrandpunktikandidaten	135
84 Bestimmung des Korrekturmaßes.	140

Patentansprüche

1. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit durch elektronische Aufnahmen von Bildern des Straßengeschehens mit einer Videokamera und einer Recheneinheit, in der der Verlauf der Straße als mathematisches Modell mit einem Parametersatz a_i charakterisiert und gespeichert wird, wobei die Fahrbahnrandpunkte, die den Verlauf der Straße markieren aus dem elektronisch aufgenommenen Bild ermittelt werden und für das Verfahren als Meßpunkte in definierten Meßzellen dienen, dadurch gekennzeichnet, daß folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:	50
a) Geschwindigkeitsbestimmung durch Meßzellenvergleich des aktuellen mit dem zuvor aufgenommenen Bild unter Verwendung eines Parametersatzes a_i ,	55
b) Horizontaler Vergleich von Bildbereichen,	60
c) Schätzung der Modellparameter a_i' ,	65
d) Gradientenkorrektur der Meßzellen im Bereich der horizontalen Eingrenzung,	70

e) Schätzung der Modellparameter a_i'' .

2. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Modellparameter a_i'' als Basis für die Geschwindigkeitsbestimmung der nächsten Messung herangezogen werden.
3. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit durch Verschieben der Meßzellen in zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Bildern entlang der Fahrbahnänder gemäß des Fahrbahnmodells gemessen wird, wobei die Messung durch Bildung von geschwindigkeitsabhängigen globalen Ähnlichkeitsmaßen (DFD Displaced Frame Difference) über alle Meßzellen, sowie durch eine statistische Auswertung aller Ähnlichkeitsmaße mit Least-Square-Schätzung der Fahrzeuggeschwindigkeit gewichtet wird.
4. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Fahrbahnrandpunkterfassung nach der Geschwindigkeitskompensation durch eine Least-Square-Schätzung der horizontalen Verschiebungen zwischen korrespondierenden Meßzellen in aufeinanderfolgenden Bildern mit statistischem Analyseverfahren und der Ermittlung des Gradientenkorrekturbereichs anhand der Standardabweichung aus der Modellparameterschätzung und anschließender lokaler Gradientenkorrektur der detektierten Fahrbahnpunkte innerhalb des Korrekturbereichs erfolgt.
5. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelten Modellparameter auf ihre Zuverlässigkeit bewertet werden, wobei als Maß das Verhältnis aus Standardabweichung und Modellparameter, sowie die resultierende Abweichung von der Modellkurve durch Variation der Modellparameter entsprechend der Standardabweichung gilt.
6. Verfahren zur dynamischen Spurverfolgung von Fahrzeugen zur Ermittlung eines Fahrbahnmodells unter Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Ausfall der Bestimmung eines Modellparameters der Parameter des letzten Bildes verwendet wird.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

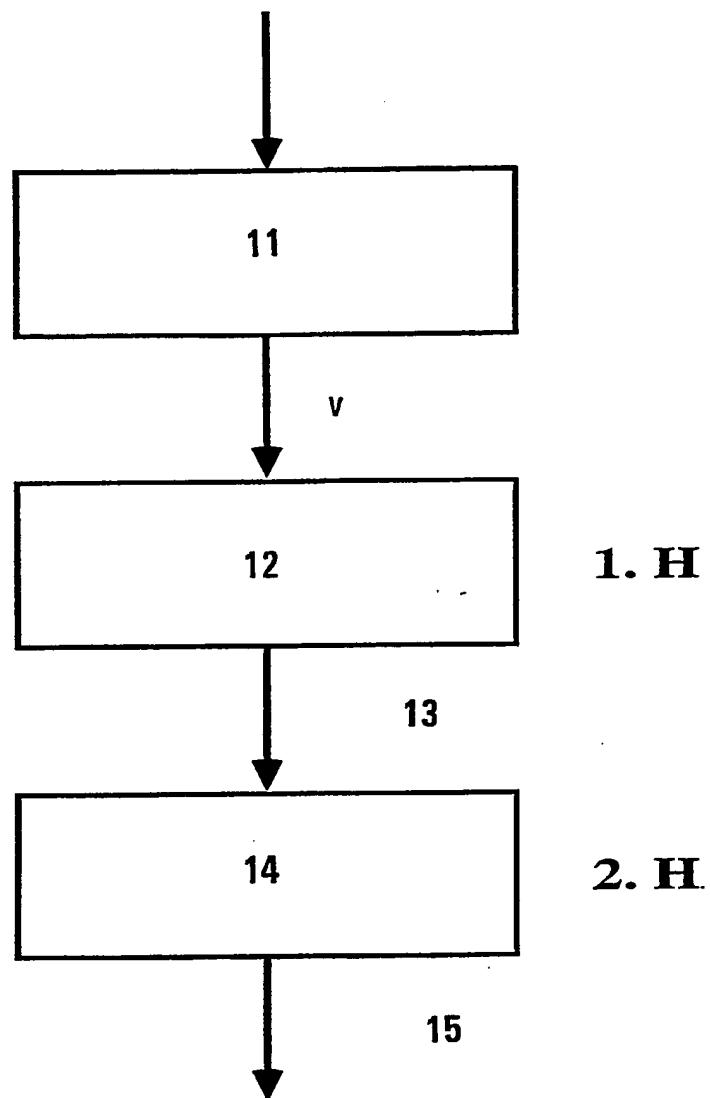


Fig. 1

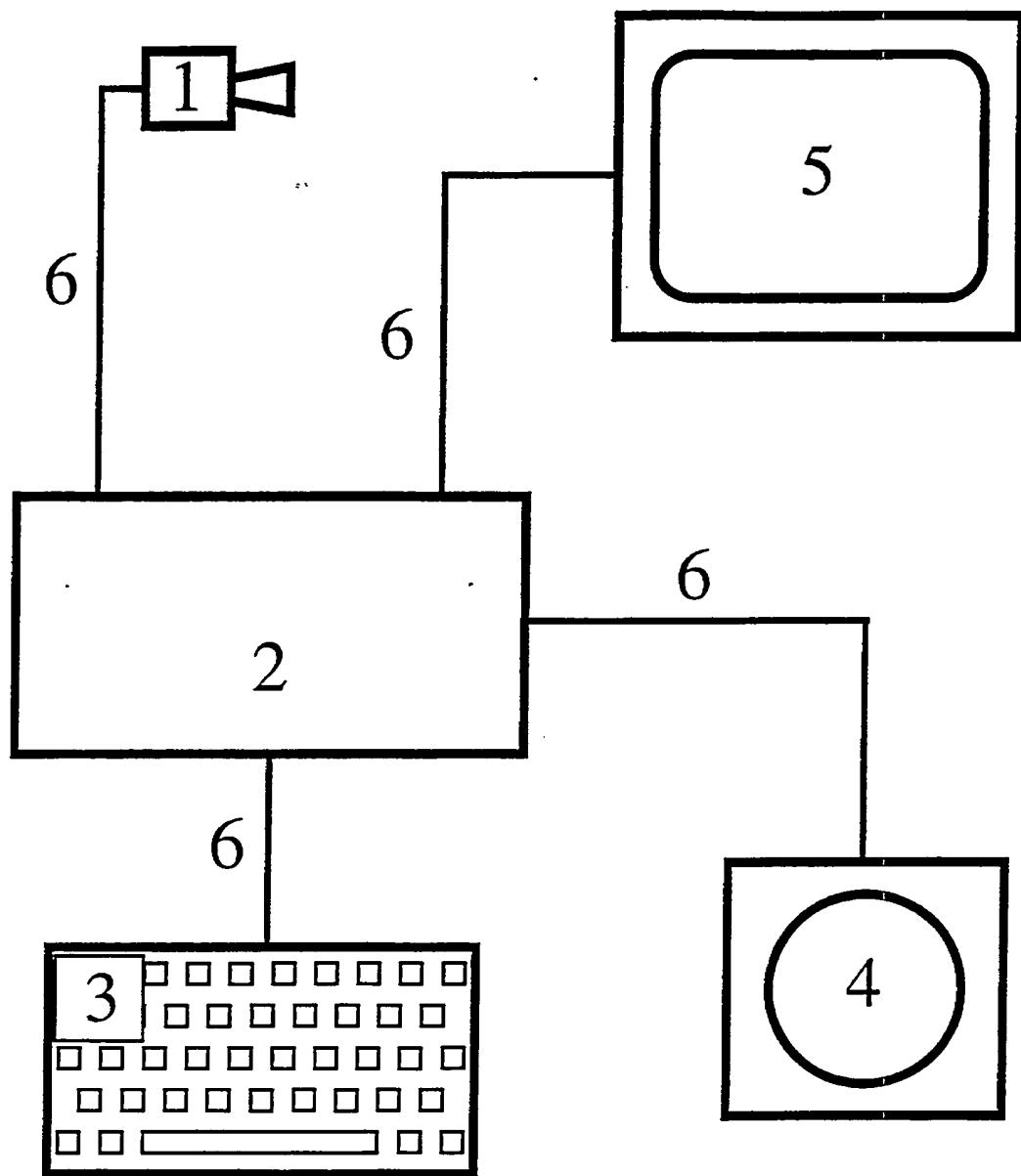


Fig. 2

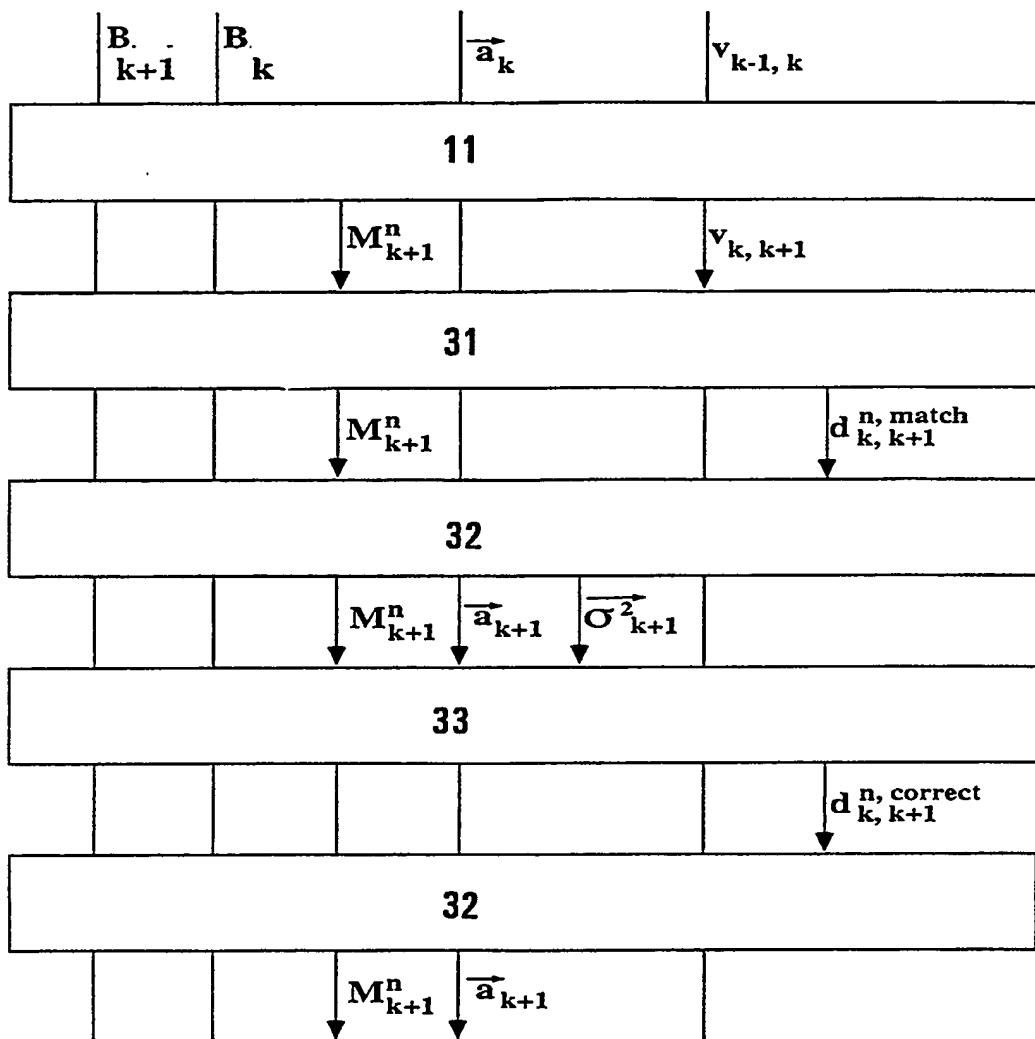


Fig. 3



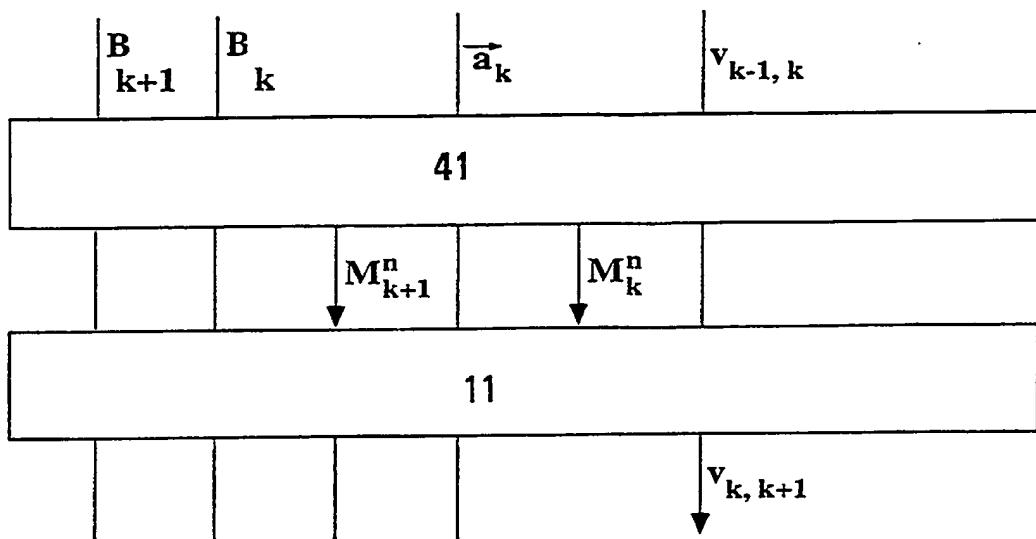


Fig. 4

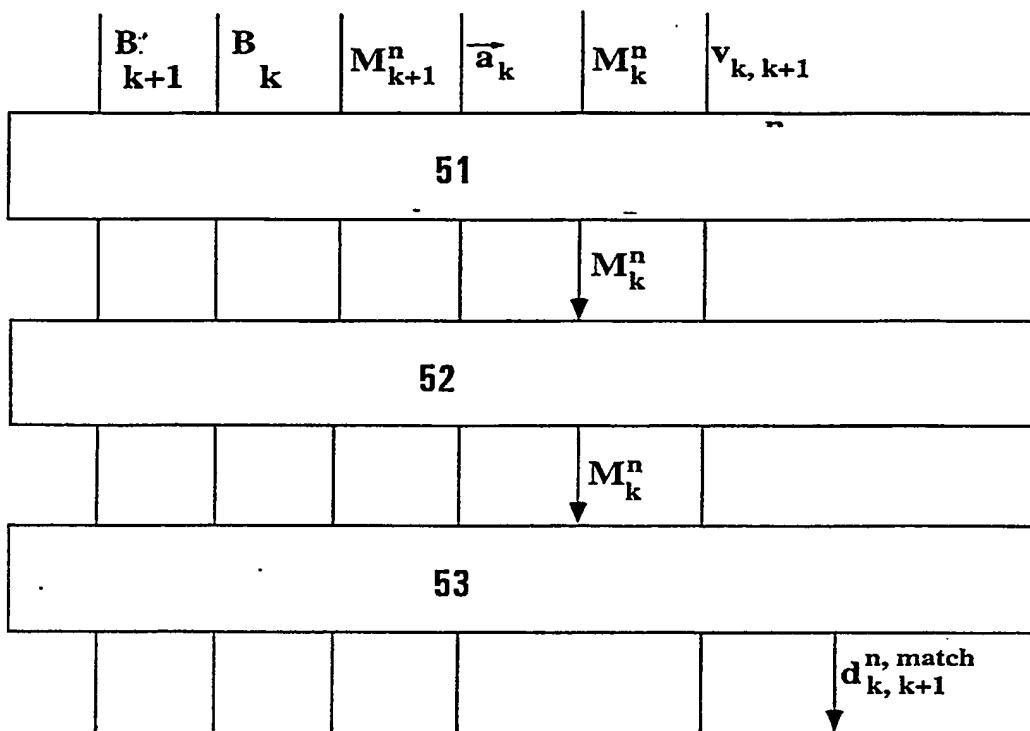


Fig. 5



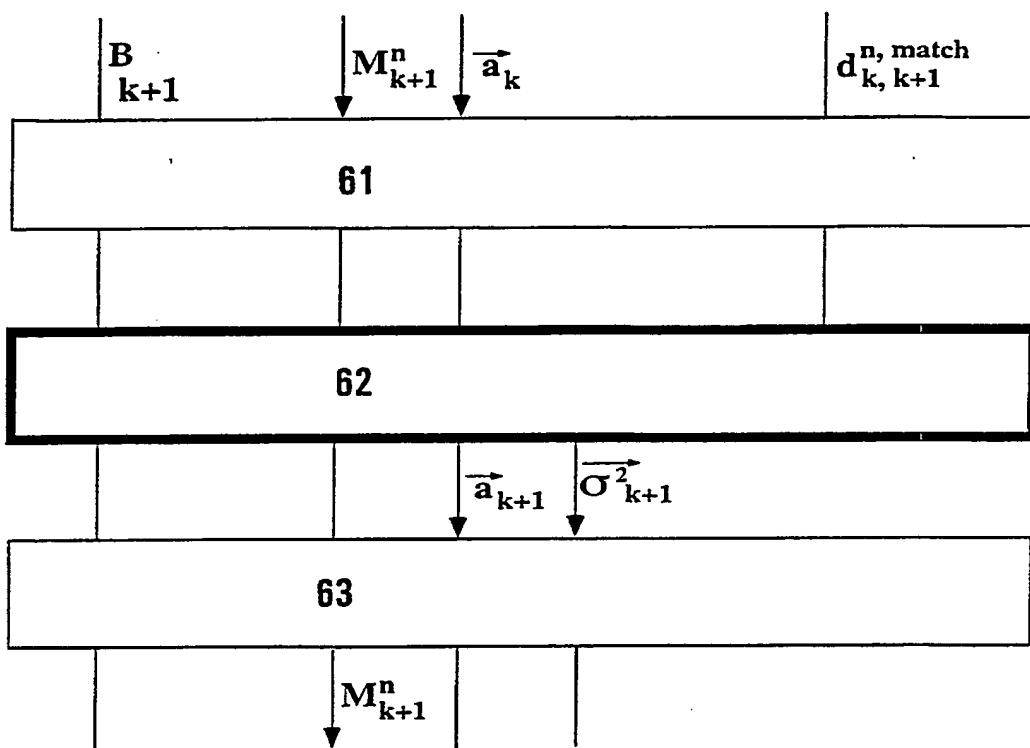


Fig. 6

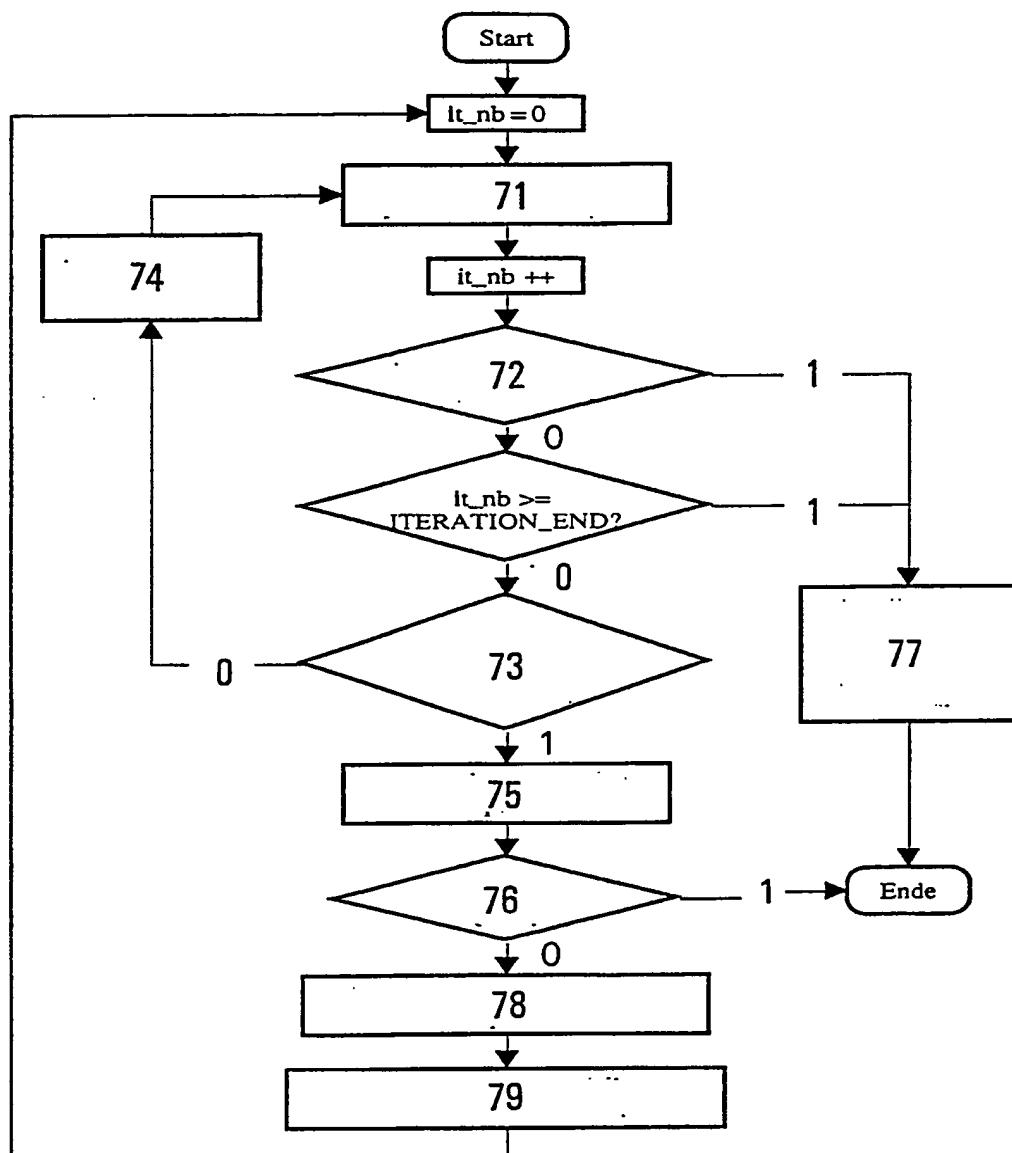


Fig. 7

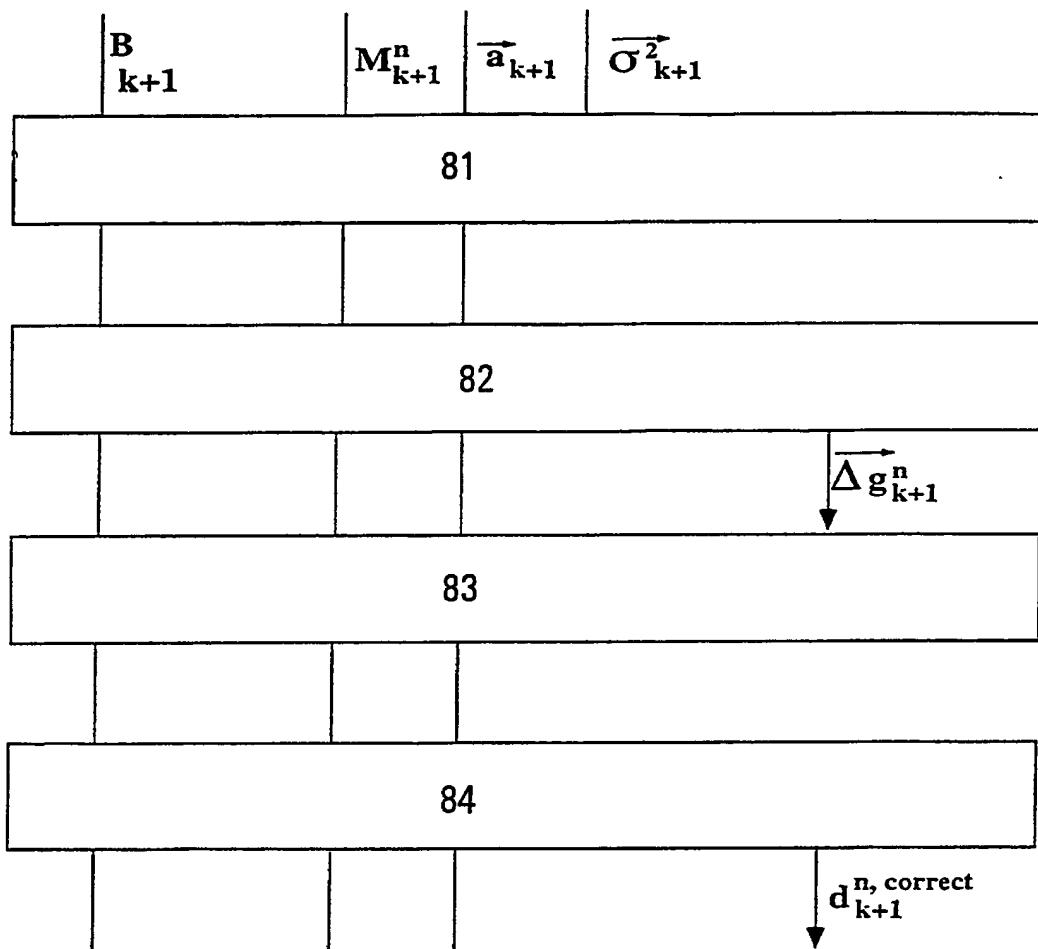


Fig. 8

